



Framtida potential för skogsbränslen i Sverige

Future potential for forest fuel in Sweden

Ambjörn Forslund

Arbetsrapport 365 2012
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Torgny Lind

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-365-SE

Framtida potential för skogsbränslen i Sverige

Future potential for forest fuel in Sweden

Ambjörn Forslund

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
Jägmästarprogrammet
EX0707

Handledare: Torgny Lind, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, resursanalys
Examinator: Ola Eriksson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Sammanfattning

Alltsedan 1970-talets oljekris har olika metoder att öka uttaget av skogsbränsle för energiframställning kommit och gått. Klimatförändringarna och ett ökat oljepris har ånyo aktualiserat användningen av skogsbränsle vid klimatneutral och förnyelsebar energiframställning i Sverige. I en proposition från regeringen framgår målet att 50 % av den tillförda energin år 2020 ska komma från förnyelsebara energikällor. Fjärrvärme och kraftvärme nämns som en möjlig väg att gå. Tillgången på skogsbränsle och behov av skogsbränsle för värme- och elproduktion varierar över landet. Målet med examensarbetet var att med hjälp av Heureka's applikationer beräkna potentialen för skogsbränsle som energikälla i Sverige med olika antaganden om skogsskötselstrategier. Simuleringar av två scenarier gjordes för fem beräkningsregioner där skogsbränslepotentialen de närmaste 100 åren beräknades. Till beräkningarna användes data från Riksskogsgtaxeringen. Resultatet visar att relativt enkla förändringar av skogsskötseln ökar, och i vissa fall mångdubblar, skogsbränsleskörden. Det finns en outnyttjad skogsbränslepotential i Sverige, en tillgång som skulle kunna användas för att nå de mål som satts upp om användningen av förnyelsebar energi av regeringen.

Abstract

Ever since the oil crisis in the 1970's various methods to increase the forest fuel harvest for energy production have come and gone. Due to the global warming and the increasing oil price the interest of forest fuel for carbon neutral and renewable energy production has again increased in Sweden. The Swedish government has stated the goal that 50 % of the energy supplies by the year 2020 should come from renewable sources. District heating (DH) and combined heat and power (CHP) is mentioned as a possible way to reach the goal. There is however a variation of the availability of forest fuel and the need for forest fuel for heat and electricity production across the country. The object of this study was to use Heureka applications to calculate the forest fuel potential in Sweden under different assumptions about the forest management. The country was divided into five regions and simulations of two forest management scenarios were performed. In the simulations the forest fuel potential over the next 100 years was calculated. The calculations were based on data from the national forest inventory (NFI). The results suggest that simple changes in the forest management can increase, and in some cases double, the forest fuel harvest. There is an untapped potential of forest fuel in Sweden, an asset that could be of use to reach the goal on renewable energy supply mentioned by the government.

Innehåll

Inledning.....	5
Bakgrund	5
Målsättning.....	7
Avgränsning	7
Material och metod.....	8
Programvaror.....	8
Indata	8
Avståndsberäkning	8
Regionindelning	9
Scenarion	11
Skogsdomäner	11
Domän- och scenariospecifik skogsskötsel	13
Simuleringen	14
Effektanalysen	15
Resultat.....	16
Allmänt.....	16
Resultat från beräkningarna av skogsbränsle	18
Skogsbränslebalans	22
Resultat för effektanalysen.....	23
Diskussion	24
Förslag till framtida studier	26
Slutsats	27
Tillkännagivande	28
Litteraturförteckning	29
Bilaga 1: Styrtabeller.....	31
Bilaga 2: Prislistor	35

Inledning

Bakgrund

Klimatförändringarna och ett allt högre oljepris har på nytt aktualiserat användningen av skogsbränsle vid energiframställning i Sverige. Idag utgör skogsbränsle ett tredje sortiment jämte timmer- och massaved. Skogsbränslen faller enligt svensk standard under kategorin trädbränslen. Trädbränslen indelas beroende på ursprung i skogsbränslen, återvunnet träbränsle samt energiskogsbränsle (Nationalencyklopedin, 2012). Med skogsbränsle menas här oförädlat skogsbränsle såsom avverkningsrester i form av grenar och toppar (GROT) som inte efterbehandlats genom t.ex. pelletering eller torifiering.

På beställning av Europeiska rådets möte i mars 2007 har EU kommissionen tagit fram riktlinjer för det europeiska klimat- och energiområdet. I januari 2008 presenterade kommissionen klimat- och energipaketet med klimatmål som innebär att medeltemperaturen år 2020 inte får vara högre än 2°C över medeltemperaturen vid förindustriell tid. För att nå detta klimatmål beslutade EU:s energi- och miljöråd om en rad åtgärder som ska uppfyllas till år 2020. Bland annat innebär dessa åtgärder en utsläppsminskning av växthusgaser med 20 %, en ökning av andelen förnyelsebar energi till 20 % av den totala energianvändningen samt att biodrivmedel ska utgöra 10 % av energitillförseln inom transportsektorn till år 2020. (Regeringen, 2009)

EU:s klimatpaket är utgångspunkt för Sveriges klimat- och miljöpolitik. Sverige har dessutom som ambition att vara föredöme inom området och har utformat egna mål som är högre än de åtaganden som EU ålagt Sverige. I regeringens proposition: *En sammanhållen klimat- och miljöpolitik* framgår Sveriges energimål inför år 2020. Målet i denna är att 50 % av den tillförda energin, varav 10 % av den tillförda energin inom transportsektorn, ska komma från förnyelsebara energikällor. Vidare framgår att minskningen av s.k. klimatgaser ska vara 40 % samt att energieffektiviseringen ska vara 20 % till år 2020 (Näringsdepartementet, 2008).

I propositionen presenterades också några långsiktiga prioriteringar för värme- och elproduktion samt för transportsektorn. Fossila bränslen för uppvärmning ska vara helt urfasat till år 2020. Här nämns fjärrvärme och kraftvärme som en möjlig väg att gå. För transportsektorn görs bedömningen om en urfasning till år 2030. Vidare bör en tredje stöttepelare utvecklas när det gäller elproduktionen, en elproduktion som idag nästan enbart vilar på vatten- och kärnkraft. Detta för att minska sårbarheten och för att trygga försörjningen. Regeringen vill i propositionen se att kraftvärme och vindkraft tillsammans med andra alternativ kliver fram och utgöra en större del av elproduktionen än dagens nivå (Näringsdepartementet, 2008). Skogsbränsle som drivmedel vid el- och värmeframställning är ett attraktivt alternativ för Sverige dels på grund av det kalla klimatet och dels på grund av den stora skogsmarksarealen per invånare. Skogsbränsletillgången är dock ofta som störst där behovet av värme är som minst.

Ny teknik för framställning av drivmedel till transportsektorn, bl.a. framställning av DME genom förgasning av träråvara, kommer ytterligare inteckna andelar av den biomassa som kan produceras i Sverige (Jacobsson, 2005). Lägg därtill en trolig förändring av möjligheterna till import/export av biobränslen både inom Europa och över hela världen.

Från 1970-talets oljekris och framåt har olika metoder att öka uttaget av skogsbränsle kommit och gått. Bland dessa finns skörd av GROT samt stubbar vid slutavverkning. De senaste årens debatt angående den storskaliga stubbrytningens tekniska svårigheter och oklara miljökonsekvenser föranleder dock att stubbrytning inte beaktas i denna studie. På senare tid har även möjligheten till skörd av GROT vid gallringar, så kallade energigallringar, undersökts (Bergström, m.fl., 2010). Vidare har även möjligheten att lämna längre toppar genom att öka minsta toppdiametern för rundvirke, den så kallade långa toppar metoden (LT-metoden), studerats (Sallin, 2008). Gödsling är en åtgärd som ökar produktionen och därmed möjligheten att skörda GROT. Det har tidigare ansetts att gödsling medför en inlåsningsseffekt på kort sikt eftersom produktionsökningen kan realiseras först på längre sikt. En ny analys med Heureka PlanWise tyder dock på att det vid stora skogsinnehav och bra planering skulle vara möjligt att öka avverkningsnivån redan i samband med gödslingen (Thelberg, 2011). I denna studie anses dock inte gödsling som förstahandslösningen för att nå högre skogsbränsleskörd på kort sikt. Det kan däremot bli aktuellt med gödsling eller askåterföring i samband med skogsbränsleskörd som en kompensationsåtgärd för den produktionsnedsättning som biomassauttaget medför (Skogsstyrelsen, 2008).

Skillnader föreligger i den teoretiskt möjliga och den i praktiken tillgängliga skogsbränslemängden. Den tillgängliga mängden begränsas dels av ekologiska restriktioner eftersom skogsbränsleskörd är olämpligt vid vissa mark- och drivningsförhållanden samt att det av naturvårdsskäl bör lämnas avverkningsrester i skogen. Vidare begränsas den tillgängliga mängden av ekonomiska restriktioner som dels beror på priset som skogsbränsle betingar och kostnaderna, som t.ex. transportkostnader, i samband med uttaget (Egnell, 2008). Oförädlad skogsbränsle har ca 5 ggr lägre energiinnehåll (Björk, m.fl., 1998), och dessutom lägre bulkdensitet, än fossilt bränsle och är därför dyrt att transportera. Hur långt skogsbränslet kan transporteras beror på energipriset och transportkostnaderna. Möjligtvis tillåter energipriserna längre transportsträckor i framtiden. Möjligheten att öka energidensiteten hos skogsbränslet genom komprimeringsteknik såsom pelletering eller torifiering möjliggör också längre transporter.

Sedan 2000 har SLU i samarbete med Skogforsk bedrivit ett forskningsprogram för att ta fram ett datoriserat planeringsverktyg för skogsbruket. Forskningsprogrammet som avslutades 2009 resulterade i Heurekasystemet. Heureka består av applikationer för skogliga konsekvensberäkningar och beslutsstöd för mångbruksinriktat skogsbruk. Det är möjligt att modellera scenarion och beräkna hur olika skogsskötsel påverkar allt från virkes- och biomassaproduktion till rekreation och biodiversitet. Applikationen PlanWise är optimerande och används för enskilda fastigheter och större innehav för att ta fram konkreta skötselalternativ för att nå brukarens mål. RegWise är däremot simulerande och används för konsekvensberäkningar för större regioner. RegWise är speciellt anpassat för att använda skogliga data från Riksskogstaxeringen. Prognosmodeller för skogens utveckling är

gemensamma för alla applikationer inom Heureka-systemet. Beräkningarna görs normalt för 20 perioder om vardera fem år (Lämås & Dahlin, 2006).

Målsättning

Målet med examensarbetet är att med hjälp av Heureka beräkna skogsbränslepotentialen i Sverige med olika antaganden om skogsskötselstrategier. I beräkningarna skapas två scenarion med olika skogsskötselstrategier. Därefter kommer tillgången på oförädlad skogsbränsle för de två scenarierna jämföras mot behovet baserat på statistik för skogsbränsleanvändningen. Slutligen kommer en effektanalys göras för att undersöka effekten på skogsbränsletillgången för enskilda skötselåtgärder.

Avgränsning

Analysområdet omfattar hela Sverige, däremot beaktas ingen import eller export av oförädlade skogsbränslen. Behovet av skogsbränsle avser fjärrvärme- och kraftvärmesektorn. Simuleringarna av de två scenarierna görs för 100 år om 20 stycken 5 års perioder med startår 2008. Jämförelserna avser i huvudsak tillgång och behov av oförädlad skogsbränsle fram till år 2020.

Material och metod

Programvaror

Heureka RegWise 1.8
Microsoft Office Excel 2007
ESRI ArcGIS 10

Indata

Riksskogstaxeringen har sedan 1923 inventerat skogen i Sverige med syfte att beskriva skogstillstånd och förändringar. Idag inventerar Riksskogstaxeringen ca 60 000 provytor, s.k. RT-ytor, över en femårsperiod. RT-ytorna är systematiskt utlagda över hela landet där vissa provytor är permanenta som inventeras återkommande medan vissa är tillfälliga som bara inventeras en gång. Vid inventeringen registreras ett stort antal skogliga variabler såsom t.ex. ålder, trädslag, höjd och diameter (Axelsson, m.fl., 2010). Till denna studie användes data från RT-ytor inventerade år 2006 och 2007.

Svensk Fjärrvärme är en branschorganisation för företag som producerar och/eller distribuerar fjärrvärme och fjärrkyla. Varje år samlar Svensk Fjärrvärme in information från medlemsföretagen om bränsleslag och tillförd energi som används för att producera kraftvärme och fjärrvärme. Den tillförda energin redovisas i GWh fördelat på respektive bränsletyp och fjärrvärmenät. Till varje fjärrvärmenät kan flera fjärrvärmeverk och kraftvärmeverk vara anslutna (Svensk Fjärrvärme, 2011). I studien användes statistik för tillförd energi från år 2009.

En viktig informationskälla till studien var även de styrtabeller som användes vid den skogliga konsekvensberäkningen 2008 (SKA-VB 08) med information om skogliga åtgärders omfattning och styrka för olika landsdelar (Skogsstyrelsen, 2008).

Avståndsberäkning

Oförädlad skogsbränsle är på grund av låg energidensitet dyrt att transportera långa sträckor. Därför begränsades skogsbränsleskörden av ekonomiska restriktioner i form av bortre gräns för terräng- och vägtransport. Terrängtransportavståndet från provytorna till närmaste skogsbilväg fanns redan som en variabel i Riksskogstaxeringens databas. Transportavståndet från skogsbilväg till fjärrvärmeverk finns däremot inte. Som en del i att skapa de ekonomiska restriktionerna beräknades därför avståndet från varje RT-yta till närmsta fjärrvärmenät genom att plotta koordinaterna för dessa i ArcGIS 10. RT-yternas koordinater var kända men fjärrvärmenätens koordinater bestämdes genom att ungefärligt bestämma koordinaterna för fjärrvärmenäten med eniro.se. Avstånden multiplicerades sedan med en slingerfaktor (formel 1) för att bättre representera det faktiska avståndet mellan provytan och fjärrvärmenätet (1990 års skogspolitiska kommitté, 1992).

$$S = A_{st} \cdot (1,3 - 0,0005 \cdot A_{st}) \quad (1)$$

Där:

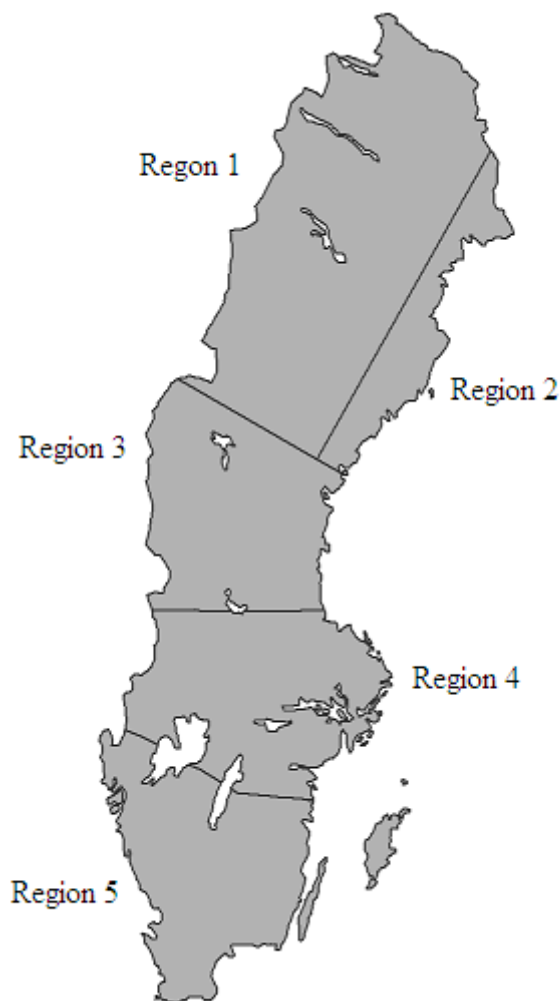
S = det beräknade avståndet mellan provytan och fjärrvärmenätet.

A_{st} = avståndet fågelvägen mellan provytan och fjärrvärmenätet.

Riksskogstaxeringens databas kompletterades sedan med vägtransportavståndet som en variabel för varje provyta.

Regionindelning

Studiens mål är att beräkna potentiella skogsbränsletillgångarna för Sverige. Tillgången på skogsbränsle och behovet av skogsbränsle för värme- och elproduktion varierar över landet och motiverar därför indelning av landet i mindre beräkningsregioner. Ursprungsidén var att använda de fem befintliga virkesbalansområdena som Riksskogstaxeringen har utarbetat (SLU, 2009). Denna indelning visade sig dock olämplig för oförädlade skogsbränslen då fjärrvärmeverkens placering, ofta koncentrerade till större orter, gav upphov till ett flödesmönster med skogbränsletransporter över regiongränserna. Istället användes fem regioner baserat på observerade skogsbränsleflöden (Athanassiadis, m.fl., 2011). Med hjälp av ArcGIS 10 bestämdes RT-ytornas samt alla befintliga fjärrvärmenäts tillhörighet till regionerna, se figur 1.



Figur 1: Regionindelning baserad på studien: *A Regional-Scale GIS-Based Evaluation of the potential and Supply Costs of forest biomass in Sweden* (Athanassiadis, m.fl., 2011).

Mängden tillförd energi i form av oförädlad skogsbränsle för varje region beräknades med statistik från Svensk Fjärrvärme. Det förväntade bränslebehovet år 2020 beräknades genom att addera projekterade fjärrvärmeverks produktionskapacitet till den tillförda energin 2009 (Anon, 2011). Totalt tillfördes 20,57 TWh i form av oförädlad skogsbränsle till fjärrvärmenäten år 2009. Till oförädlad skogsbränsle räknas enligt Svensk Fjärrvärme GROT, spån av stamvedsflis, träspån, träpulver och övriga oförädlade biobränslen (Svensk Fjärrvärme, 2011). Totalt tillfördes samma år 2,5 TWh i form av GROT enligt Skogsstatistisk Årsbok (Skogsstyrelsen, 2011). GROT-andelen motsvarade alltså 12,2 % av det oförädlade skogsbränslet. I tabell 1 sammanställs behovet av oförädlad skogsbränsle och GROT fördelat på regionerna för år 2009 och 2020.

Tabell 1: Tillförd energi fördelat på total mängd oförädlad skogsbränsle och GROT i TWh för respektive region år 2009 samt prognos för år 2020

Region	2009		2020	
	Oförädlad		Oförädlad	
	Skogsbränsle	GROT	Skogsbränsle	GROT
1	0,64	0,08	0,64	0,08
2	1,79	0,22	2,49	0,30
3	1,94	0,24	2,35	0,29
4	8,93	1,09	13,30	1,62
5	7,26	0,89	12,33	1,50
Summa	20,57	2,51	31,11	3,80

Scenarion

I studien skapades med hjälp av Heureka RegWise två scenarion med syfte att undersöka skogsskötselstrategins påverkan på skogsbränsletillgången. De två scenarierna var:

Referensscenariot vars syfte var att efterlikna dagens skogsskötselstrategi och

Skogsbränslescenariot vars syfte var att analysera hur en mer skogsbränsleinriktad skogsskötselstrategi påverkar tillgången på skogsbränsle. Med en skogsbränsleinriktad strategi menas att:

- ekonomiska restriktioner såsom transportavstånd ignorerades
- skogsbränsleskörd tilläts ske i större omfattning
- LT-metoden tillämpades för alla marker där skogsbränsleskörd tilläts
- på lämpliga marker skördades skogsbränsle även vid gallring, s.k. energigallring

Skogsdomäner

I RegWise är det möjligt att utforma skogsskötseln genom att ändra skogliga åtgärders omfattning och styrka. Med skogliga åtgärder menas föryngring, röjning, gallring och slutavverkning. Åtgärderna kan sedan riktas mot specifika skogstyper eller geografiska områden genom att skapa s.k. skogsdomäner. Varje RT-yta utgör en behandlingsenhet i beräkningarna. Indelningen i skogsdomäner baseras på RT-ytornas inventerade variabler. Det är olämpligt att skapa skogsdomäner baserat på dynamiska samband som t.ex. volym eller stammar per hektar eftersom dessa variabler varierar över tiden och beroende på skogsskötseln. Därför baserades domänerna på variabler som inte förändras över tiden.

I studien användes skogsdomäner i syfte att särskilja skogsskötseln för naturreservat, torvmarker och skogstyper där skogsbränsleskörd tilläts samt övriga skogstyper. Skogsdomänerna baserades på variablerna:

- fuktighet
- ytstruktur
- lutning
- ståndortsindex (H100)
- terrängtransportavstånd
- vägtransportavstånd

Utöver dessa variabler användes även indikatorvariabler för naturreservat och torvmark.

Tabell 2: Kriterier för urval till respektive skogsdomän

Skogsdomän Namn	Variabel	Värde	Scenario ¹	Skörd ²
Naturreservat	naturreservat	> 0	Båda	Nej
Torvmark	torvmark	> 0	Båda	Nej
Lång vägtransport	vägtransport- avstånd	> 100 km	Referens	Nej
Lång terrängtransport	terrängtransport- avstånd	> 500 m	Referens	Nej
Energigallring	lutning	= 1 och 2	Skogsbränsle	Ja
	fuktighet	= 1, 2 och 3		
	ytstruktur	= 1, 2 och 3		
	ståndortsindex	> 24		
Skogsbränsleskörd	lutning	= 1 och 2	Båda	Ja
	fuktighet	= 1, 2 och 3		
	ytstruktur	= 1, 2 och 3		
Övriga			Båda	Nej

¹ Indikerar för vilket/vilka av scenarierna som skogsdomänen var aktiv

² Indikerar om skogsbränsleskörd tilläts för skogsdomänen

Värdena för transportavstånden baserades på en studie från Skogforsk där alla kostnadsposterna som uppstår för skogsbränsle från avverkningen fram till kunden beräknats. Medeltransportavståndet för terrängtransporten var i rapporten 358 meter medan medeltransportavståndet för vidaretransporten på väg var 73 km (Brunberg, 2010). I denna studie avsågs inte medeltransportavståndet utan den bortre gräns för när skogsbränsleskörd kan ske. Den bortre gränsen för transportavstånden är därför något längre än de medeltransportavstånd som beräknades i Skogforsks rapport.

Av Skogsstyrelsens rekommendationer angående skogsbränsleskörd framgår att skogsbränsleskörd är olämpligt vid fuktiga och blöta markfuktförhållanden (Skogsstyrelsen, 2008). Därför uteslöts markfuktighetsklasserna 4 och 5 i skogsdomänerna Energigallring och Skogsbränsleskörd. Av drivningstekniska skäl uteslöts också marker med stor lutning, lutningsklass 3, 4 och 5, samt marker med ytstrukturklass 4 och 5 enligt terrängtypsschemat (Nilsson, 1969).

Valet av gallringssystem, d.v.s. om skogsbränsleskörd ska ske eller inte, baseras på förhållandet mellan utfallet av massaved och den totala biomassan samt rådande prisbild (Bergström, m.fl., 2010). Eftersom domänerna baserades på statistiska samband antogs att lämpligt förhållande mellan massaveds- och biomassautfall nås i grandominerande skogar där ståndortsindex var större än 24 (H100).

Domän- och scenariospecifik skogsskötsel

För varje skogsdomän kan inställningar göras för hur bestånden ska skötas vid en simulering i s.k. styrtabeller. Inställningsmöjligheterna i RegWise finns för allt ifrån specificering av skogsskötselåtgärder till val av prislistor och tillväxtfunktioner.

Skogsdomänen Naturreservat sköttes enligt skogsskötselsystemet Fri utveckling vilket innebar att inga åtgärder gjordes. Alla andra skogsdomäner sköttes enligt skogsskötselsystemet Trakthyggesbruk vilket innebar föryngring, röjning, gallring och slutavverkning enligt styrtabellerna för respektive region.

Styrtabellerna styrde skogsskötseln med avseende på föryngringsmetod, markberedningsmetod, trädslagsfördelning och antalet plantor per hektar vid skogsodling, andelen förädlat plantmaterial samt andelen röjning. De länsvisa ingångsvärdena för styrtabellerna hämtades från SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen, 2008). Eftersom dessa värden avsåg varje län beräknades medelvärden för vardera av de fem regionerna i figur 1. Resultatet av medelvärdesberäkningarna visas i bilaga 1.

För alla skogsdomänerna utom Naturreservat gjordes naturvårdsavsättningar enligt FSC certifieringens miljöhänsyn (Svenska FSC-rådet, 2000). Av den produktiva skogsarealen avsattes 5 % genom att avsätta en kantzon på 25 meter mot myrar, vatten och formellt skyddad mark. I de fall kantzonerna inte räckte för att nå naturvårdsavsättning på 5 % gjordes slumpvis avsättning från den produktiva skogsarealen. Naturvårdsavsättningen kan på så sätt inte överskrida kraven i FSC certifieringen.

För de skogsdomäner där skogsbränsleskörd tilläts begränsades skörden till de marker med gran som dominerande trädslag. Med dominerande trädslag menas att träslagsfördelningen till minst 60 % ska bestå av trädslaget. Omfattningen av skogsbränsleskörden varierade för de två scenarierna. Detta kommer sig dels av att viss mängd avverkningsavfall bör lämnas kvar på hygget av naturvårdsskäl och dels av att det i praktiken är omöjligt att ta ut allt avverkningsavfall även om skogsbränsleskörd är möjlig. För Referensscenariot tilläts omfattningen av skogsbränsleskörden till 60 % av den lämpliga arealen i enlighet med nivåerna för det praktiska skogsbruket idag (Nurmi, 2007). För Skogsbränslescenariot tilläts omfattningen av skogsbränsleskörden till 80 % av den lämpliga arealen i enlighet med Skogsstyrelsens rekommendationer (Skogsstyrelsen, 2008).

För Skogsbränslescenariot tillämpades LT-metoden för de skogsdomänerna där skogsbränsleskörd tilläts. Detta gjordes genom att ändra toppdiametern i den fördefinierade prislistan från 5 cm till 10 cm. För skogsdomänen Energigallring frångicks även röjningsnivån i styrtabellerna. Ingen röjning tilläts i syfte att nå så hög skogsbränsleskörd som möjlig vid förstagallring (Bergström, m.fl., 2010).

Simuleringen

Varje region simulerades för de två scenarierna i totalt 10 separata simuleringar. Simuleringarna gjordes för 20 perioder om vardera 5 år med startår 2008. Resultaten sparades till en resultatdatabas och därifrån exporterades resultaten vidare till Excel. I Excel genererades de grafer och tabeller som visas i resultatdelen av rapporten.

Slutligen jämfördes skogsbränsleskörden för respektive region och scenario mot behovet av skogsbränsle för alla fjärrvärmenät i regionerna för år 2009 och 2020. För att möjliggöra jämförelsen beräknades energimängden i det oförädlade skogsbränslet med det internetbaserade beräkningsverktyget WeCalc (WeCalc, 2011). 1 ton TS GROT motsvarade 4,812 MWh enligt de fördefinierade inställningarna i WeCalc för GROT, se tabell 3.

Tabell 3: Egenskaperna för GROT som användes vid energiberäkningen

Egenskap	Värde
Torrhalt	55 %
Askhalt	2,5 %
Effektivt värmevärde	19,8 MJ/kg TS
Ångbildningsvärme	2,44 MJ/kg TS
Torr-rå densitet	456 kg/m ³
Fastmassa	14 %
Barkandel	37 %

Effektanalysen

Region 5 valdes ut som föremål för effektanalys av olika toppdiametrar. Syftet var dels att studera hur skogsbränsletillgången påverkas samt att jämföra det ekonomiska utbytet i form av nuvärde per hektar. För effektanalysen användes toppdiametrarna 5, 8 och 12 cm vilket tillämpades på skogsbränslescenariot.

För att beräkna nuvärdet behövdes information om priser för alla sortiment såsom massaved, timmer och GROT. Dessutom behövdes kännedom om kostnaderna för att utföra olika åtgärder. I RegWise finns standardvärden för kostnadsberäkningar och råvarupriser. Kostnaderna bedömdes som rimliga och inga ändringar från standardvärdena gjordes, däremot uppdaterades råvarupriserna.

Prisinformationen hämtades från Södra som är den dominerande skogsägarföreningen i regionen. Dessa priser var heltäckande för regionen och ansågs avspegla marknadsvärdet för sortimenten. Södras prislistor var uppdelade på tre geografiska områden för tall- respektive grantimmer med gemensam prislista för massaved och skogsbränsle. Medelvärdena för timmerpriserna beräknades. Därefter importerades prislistorna till RegWise. Priserna för timmer och massaved avsåg kr/m³ fub fritt bilväg för leveransvirke. Priset för skogsbränsle avsåg kr/m³ s fritt bilväg. Priset på GROT-flis var vid simuleringstidpunkten 130 kr/m³ s (Södra, 2012) vilket motsvarar 1120 kr/ton omräknat med beräkningsverktyget WeCalc. Prislistorna finns i bilaga 2.

Vid simuleringarna sattes räntan till 3 %. Regionen simulerades i tre separata simuleringar för de tre olika toppdiametrarna.

Resultat

Allmänt

I beräkningarna ingick totalt 22,9 miljoner hektar produktiv skogsmark. Total areal där skogsbränsleskörd tilläts var 10,0 miljoner hektar för Referensscenariot och 12,8 miljoner hektar för Skogsbränslescenariot. Detta motsvarar 43,9 % resp. 55,9 % av total skogsmarksareal. Av tabell 4 framgår att inga bestånd i Referensscenariot hade längre vägtransportavstånd än 100 km (Lång vägtransport) i regionerna 2, 4 och 5.

I genomsnitt tillämpades energigallring på 20 % av den areal där skogsbränsleskörd tilläts i Skogsbränslescenariot. I de nordliga regionerna utgjorde arealen för energigallring en liten del av den totala arealen där skogsbränsleskörd tilläts medan förhållandet var det omvända i de två sydligaste regionerna.

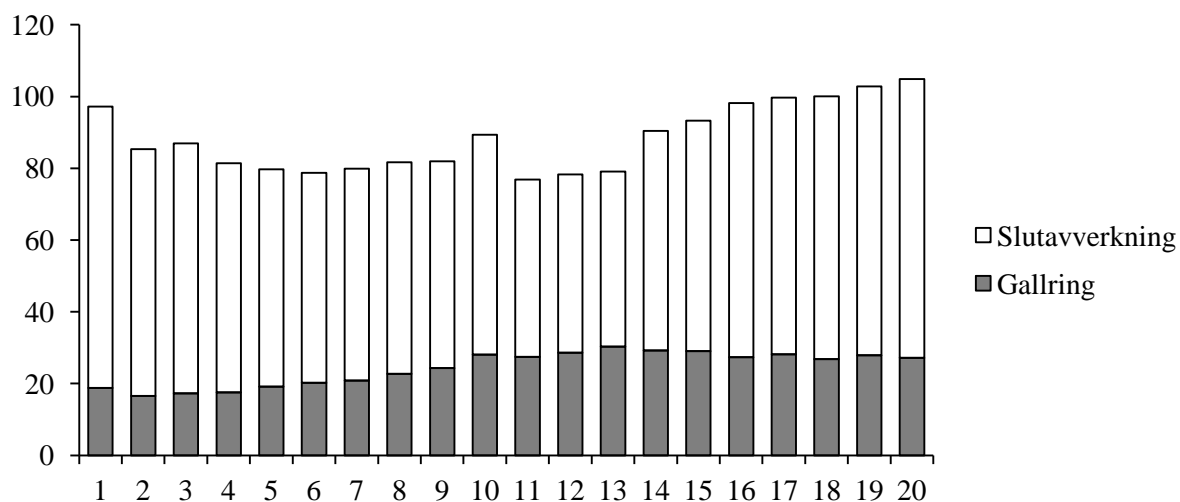
Tabell 4: Skogsmarksareal för Referensscenariot fördelat på domäner och regioner samt totalareal för varje domän, ha

Skogsdomäner	Region					Totalt
	1	2	3	4	5	
Naturresevat	473 824	12 040	70 351	167 447	51 408	775 070
Torvmark	253 084	188 518	206 207	322 100	559 230	1 529 139
Lång terrängtransport	2 267 993	495 722	884 650	462 031	173 871	4 284 265
Lång vägtransport	268 924		52 655			321 578
Skogsbränsleskörd	2 256 986	918 901	1 960 909	2 386 967	2 512 317	10 036 080
Övrigt	1 331 278	396 442	1 575 080	1 456 706	1 152 680	5 912 186
Totalt	6 852 089	2 011 623	4 749 851	4 795 250	4 449 506	22 858 319

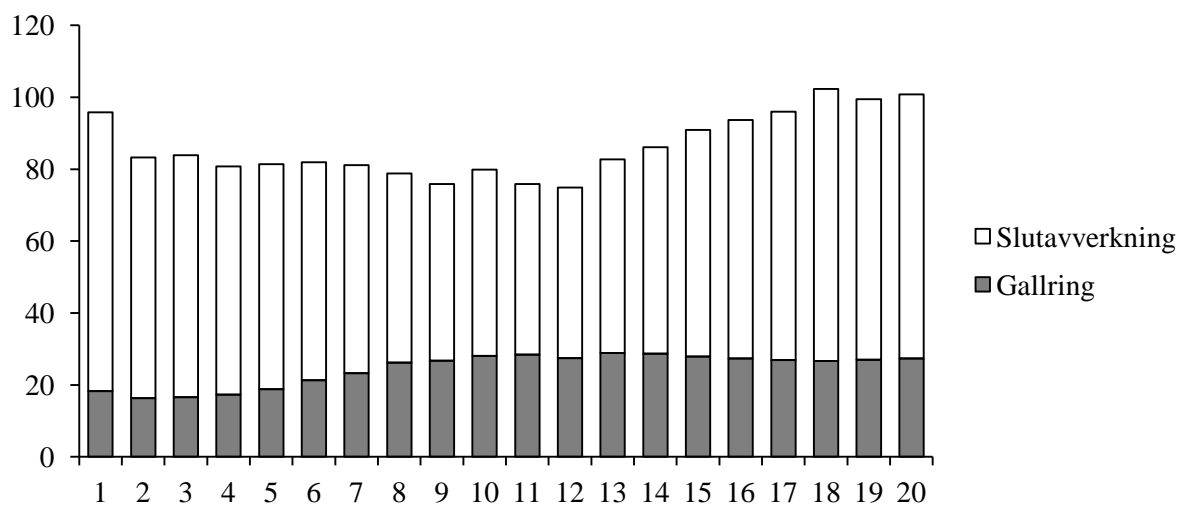
Tabell 5: Skogsmarksareal för Skogsbränslescenariot fördelat på domäner och regioner samt totalareal för varje domän, ha

Skogsdomäner	Region					Totalt
	1	2	3	4	5	
Naturresevat	473 824	12 040	70 351	167 447	51 408	775 070
Torvmark	253 084	188 518	267 315	366 716	569 441	1 645 075
Skogsbränsleskörd	3 853 155	1 266 619	2 078 480	645 799	363 949	8 208 001
Energigallring	13 739	18 406	335 216	1 955 166	2 251 444	4 573 971
Övrigt	2 258 287	526 040	1 998 489	1 660 124	1 213 264	7 656 204
Totalt	6 852 089	2 011 623	4 749 851	4 795 250	4 449 506	22 858 319

Figur 2 och 3 visar avverkningsvolymen per period fördelat på avverkningsform för hela landet. Det finns inga tydliga skillnader i avverkningsnivå mellan scenarierna och avverkningsnivåerna varierar mellan 75 och 105 miljoner m³sk per år. Avverkningsvolymen från slutavverkningar minskade mot mitten av simuleringsperioden för att sedan åter öka medan förhållandet var det omvända för volymen från gallringsavverkning. Trenden var tydlig för båda scenarierna men mest påtaglig för Skogsbränslescenariot.



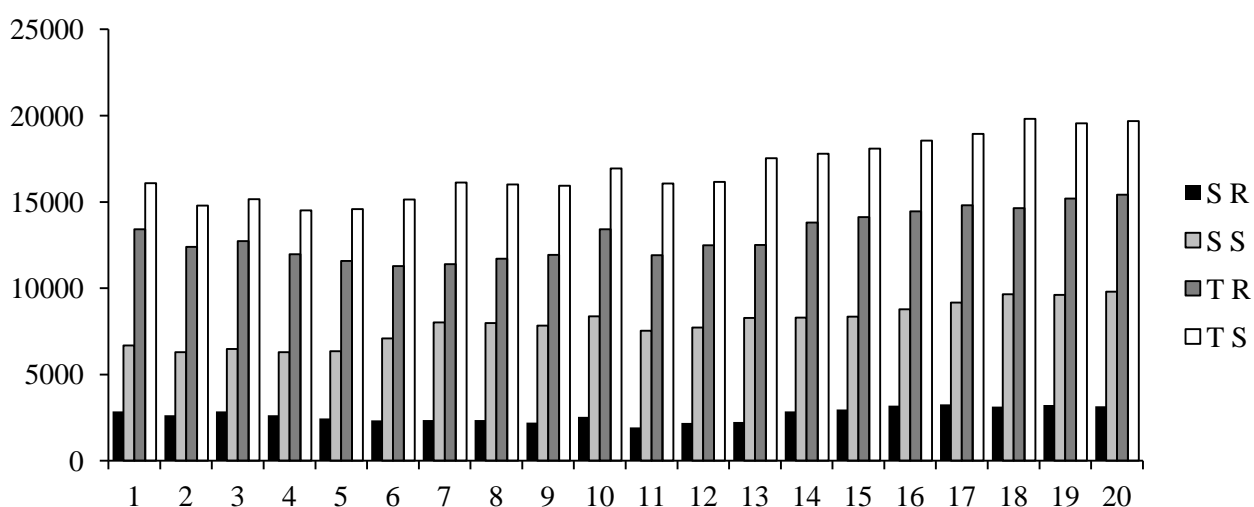
Figur 2: Avverkningsvolymen för Referensscenariot fördelat på gallring och slutavverkning. Volymerna avser de årliga medelvärdena för respektive period i miljoner m³sk.



Figur 3: Avverkningsvolymen för Skogsbränslescenariot fördelat på gallring och slutavverkning. Volymerna avser de årliga medelvärdena för respektive period i miljoner m³sk.

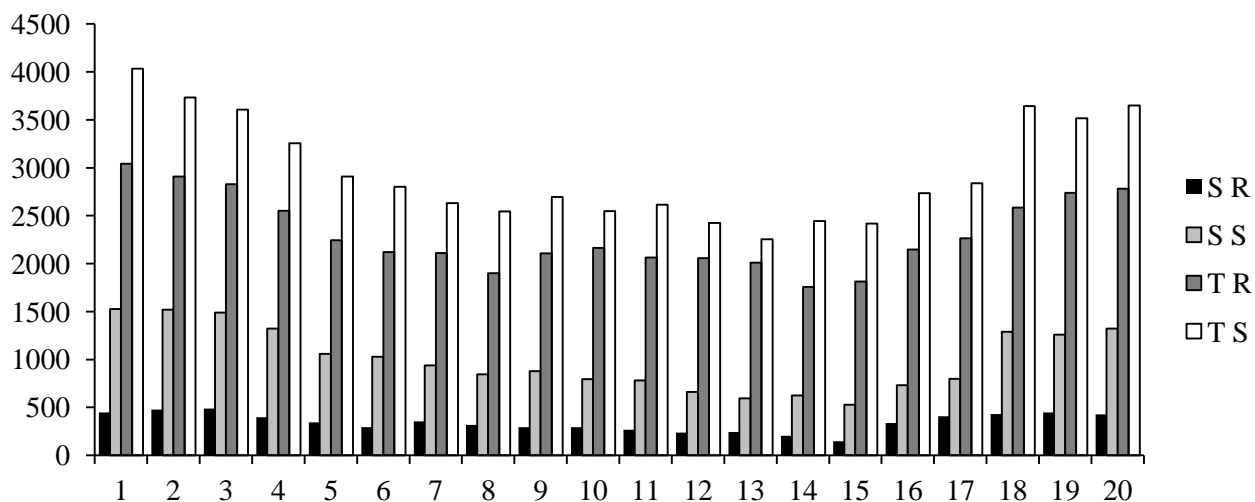
Resultat från beräkningarna av skogsbränsle

Skogsbränslet redovisas periodvis fördelat på respektive region och tillgänglig respektive skördad mängd. Både tillgängligt och skördat skogsbränsle redovisas för hela landet i figur 4 och regionvis i figur 5 till 9. Den tillgängliga skogsbränslemängden avser all GROT vid all avverkning och är således den teoretiska mängden. Den skördade mängden avser den GROT som tas ut som skogsbränsle med hänsyn tagen till restriktionerna. Bortsett från period 1, 3 och 4 i region 4 var den tillgängliga skogsbränslemängden större för Skogsbränslescenariot än för Referensscenariot. Mängden skördat skogsbränsle var i genomsnittet över alla regionerna och perioder 3 gånger större för Skogsbränslescenariot jämfört med Referensscenariot. Både tillgängligt och skördat skogsbränsle tenderade dessutom att öka över tiden.

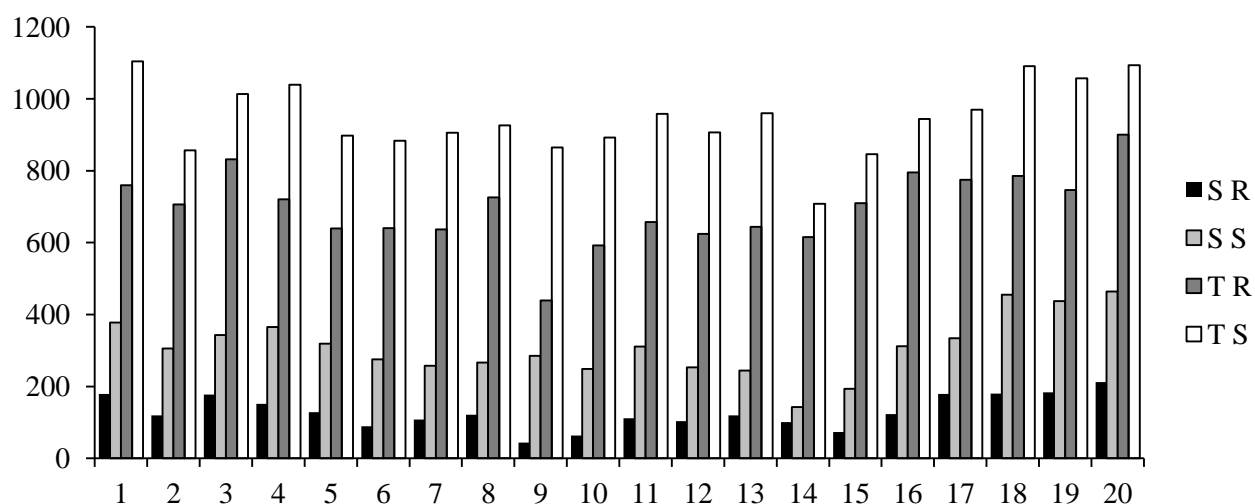


Figur 4: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för de två scenarierna och hela landet, 1000 ton TS. SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.

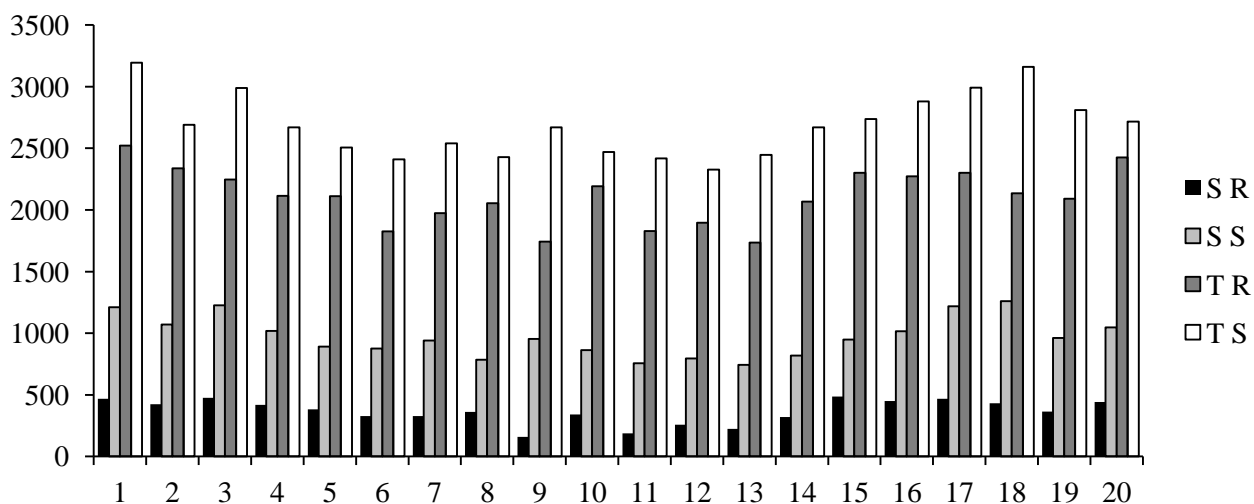
Skillnaderna i mängden skördat skogsbränsle mellan scenarierna var större i de sydliga regionerna än i de nordliga, se figur 5 till 9. Minst skillnad fanns i region 2 som dock hade största variation mellan perioderna, se tabell 6.



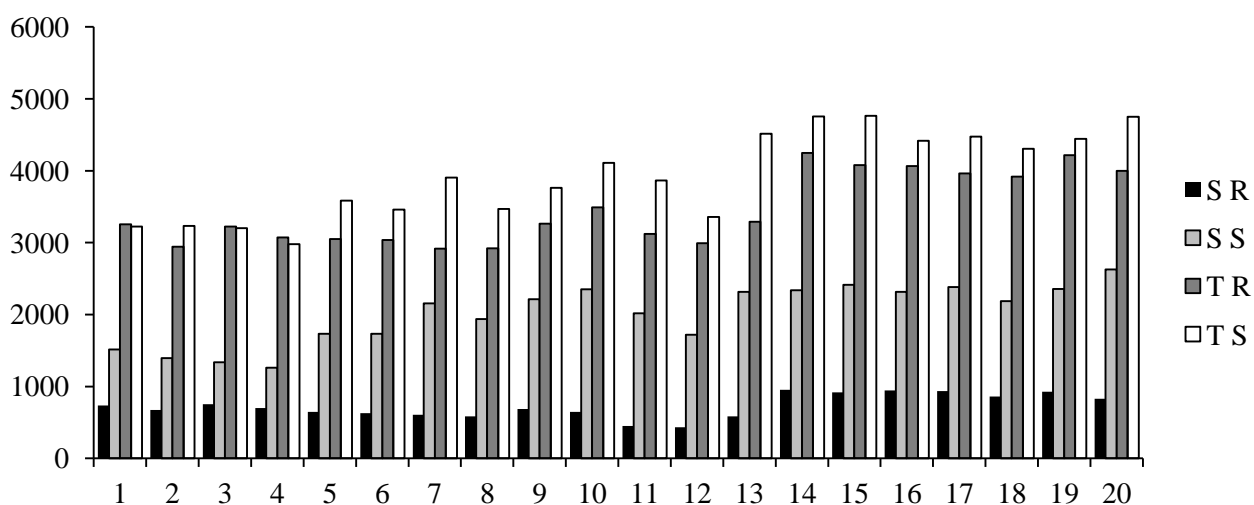
Figur 5: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för båda scenarierna i region 1, 1000 ton TS.
 SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.



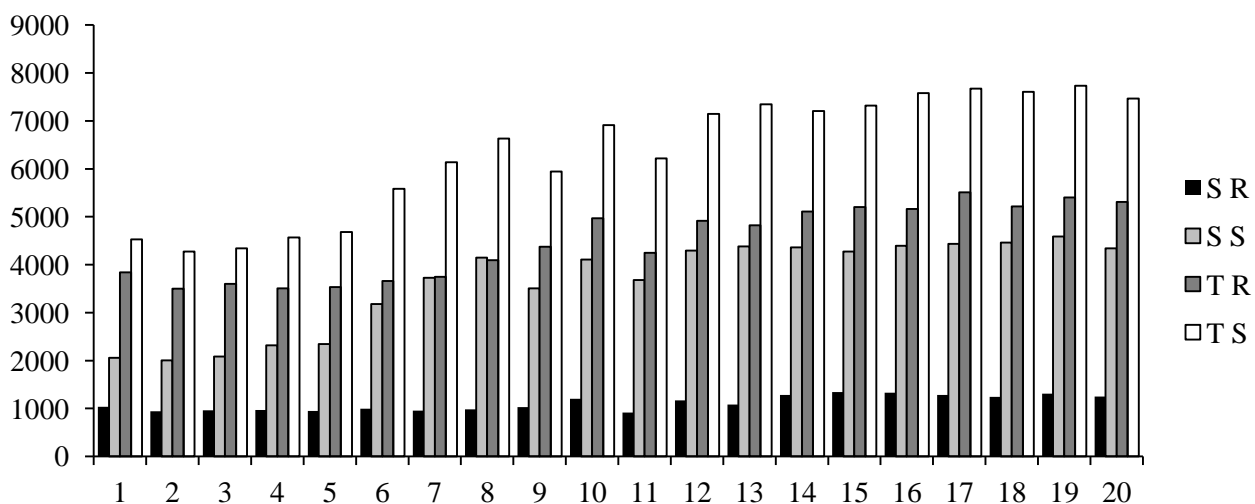
Figur 6: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för båda scenarierna i region 2, 1000 ton TS.
 SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.



Figur 7: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för båda scenarierna i region 3, 1000 ton TS.
 SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.



Figur 8: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för båda scenarierna i region 4, 1000 ton TS.
 SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.



Figur 9: Skördat och tillgängligt skogsbränsle för båda scenarierna i region 5, 1000 ton TS.
 SR = Skördat Referensscenariot, SS = Skördat Skogsbränslescenariot, TR = Tillgängligt
 Referensscenariot och TS = Tillgängligt Skogsbränslescenariot.

Skogsbränslebalans

Jämförelse mellan skördat skogsbränsle och behovet av skogsbränsle redovisas i tabell 6 och 7. Behovet av oförädlad skogsbränsle avser GROT och bygger på statistik från år 2009 medan skördat skogsbränsle avser GROT som ett medelvärde per år för den första perioden av simuleringen, d.v.s. år 2008 till 2012. Jämförelsen för år 2020 avser det förväntade behovet av GROT och medelvärdet av skördat skogsbränsle per år för period 3, d.v.s. år 2018 till år 2022.

Tabell 6: Jämförelse mellan behov av och tillgång på oförädlad skogsbränsle för den första simuleringsperioden, TWh

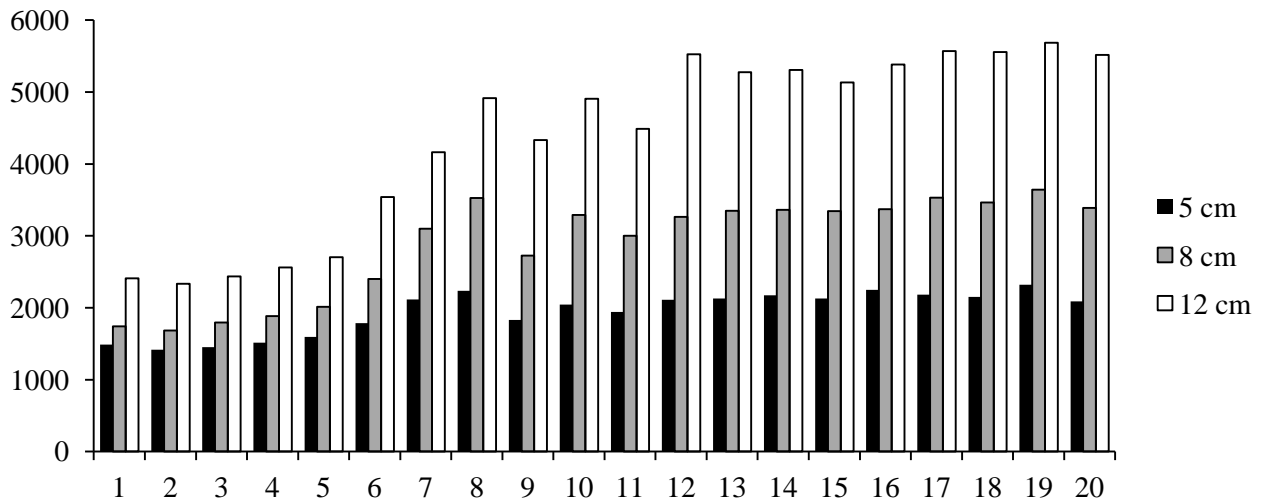
Region	Behov	Skördat		Tillgängligt	
		Referens	Skogsbränsle	Referens	Skogsbränsle
1	0,08	2,15	7,34	14,65	19,41
2	0,22	0,86	1,82	3,66	5,31
3	0,24	2,26	5,83	12,13	15,37
4	1,09	3,53	7,30	15,66	15,52
5	0,89	4,99	9,90	18,48	21,80
Summa	2,51	13,79	32,19	64,58	77,42
Överskott		11,28	29,68	62,07	74,91

Tabell 7: Jämförelse mellan behov av och tillgång på oförädlad skogsbränsle för den tredje simuleringsperioden, TWh

Region	Behov	Skördat		Tillgängligt	
		Referens	Skogsbränsle	Referens	Skogsbränsle
1	0,08	2,36	7,17	13,61	17,35
2	0,30	0,85	1,65	4,00	4,88
3	0,29	2,30	5,90	10,82	14,38
4	1,62	3,64	6,44	15,51	15,42
5	1,50	4,62	10,04	17,33	20,88
Summa	3,80	13,76	31,20	61,28	72,91
Överskott		9,97	27,41	57,48	69,11

Resultat för effektanalysen

Vid effektanalysen undersöktes hur olika toppdiametrar påverkade mängden skördat skogsbränsle. Analysen visar att skogsbränsleskörden i genomsnitt över alla 20 perioderna var 146 % större när toppdiameter var 8 cm och 221 % större när toppdiameter var 12 cm jämfört med när toppdiameter var 5 cm. Skillnaderna mellan de olika toppdiametrarna var större efter period 5 och var som störst vid den sista perioden då skillnaden var 264 % för toppdiameter 12 cm jämförd med 5 cm.



Figur 10: Skördat skogsbränsle för region 5 vid de tre olika toppdiametrarna, 1000 ton TS.

Nuvärdet per hektar för region 5 var 58 888 kr när toppdiametern var 5 cm. Nuvärdet ökade med 2 367 kr eller 4,0 % när toppdiametern var 8 cm. Nuvärdet ökade ytterligare med 3 931 kr eller 6,4 % när toppdiametern var 12 cm. Detta motsvarar en total ökning med 10,7 % jämfört med när toppdiameter var 5 cm.

Diskussion

I studien beräknades den nationella skogsbränslepotentialen med hjälp av Heureka RegWise och regionvisa simuleringar. Under arbetets gång uppdagades dock att de regionvisa simuleringarna var tämligen beräkningstunga och tidskrävande. Åtgärder vidtogs därför bl.a. genom att minska antalet provytor som simuleringarna baserades på. I stället för att använda RT-ytor från 5 år användes data från 2 år. Detta påverkar naturligtvis säkerheten i det indata som simuleringarna baseras på. RT-yternas täthet är dock dimensionerad för att ge goda skattningar av skogstillståndet även på länsnivå och regioner med betydligt mindre areal än de regioner som användes i denna studie (Axelsson, m.fl., 2010). Dataminskningen har därför ringa betydelse, speciellt när det ställs mot de osäkerheter som simuleringarna i sig medför.

I Heureka RegWise påträffades svårigheter när skogsskötseln skulle styras mot energigallring. Det fanns ingen möjlighet att ange villkor för att styra skogsbränsleskörd vid gallringsavverkning. På samma sätt som det fanns möjlighet att ange villkor för gallring baserat på dynamiska samband som t.ex. trädhöjd borde det finnas möjlighet att ställa villkor för att tillåta skogsbränsleskörd vid gallring t.ex. baserat på mängden biomassa per hektar eller kvoten mellan massaveds- och det totala biomassaautbytet. I studien hanterades detta genom att skapa en egen skogsdomän där energigallring tilläts baserat på det något stelbenta antagandet att lämpliga skogar var där ståndortsindex var större än 24 (H100).

Resultaten visar att relativt enkla förändringar av skogsskötseln ökar, och i vissa fall mångdubblar, skogsbränsleskörden även på kort sikt. Förändringar i skogsskötseln var i huvudsak att LT-metoden tillämpades vid slutavverkning samt att skogsbränsleskörd tilläts för större arealer och även vid gallringsavverkningar. Bortsett från effektanalysen simulerades i studien den sammanlagda effekten av skogsskötselstrategin för varje scenario. Förutom toppdiameterns effekt går det därför inte att urskilja enskilda åtgärders effekt på skogsbränsleskörden. Viss del av ökningen går att härleda till att större areal utnyttjades för skogsbränsleskörd i Skogsbränslescenariot jämfört med i Referensscenariot. Detta går i sin tur att härleda till skillnader mellan de ekonomiska restriktionerna för scenarierna.

Eftersom skogsbränsleskörden är kopplat till avverkningsnivån redovisades även den som en del av resultatet. Avverkningsnivån visade en avtagande trend mot mitten av simuleringsperioden för att sedan vända uppåt mot slutet. Trenden gällde för slutavverkning men dämpades något av större gallringavverkning. Trenden beror därför troligtvis på åldersklassfördelningen för landets skogar. Trenden avspeglade sig något på skogsbränsleskörden i Referensscenariot men inte i Skogsbränslescenariot, vilket beror på att skogsbränsleskörd även tilläts i gallring.

Möjlig mängd skogsbränsleskörd kopplar direkt till avverkningsnivån i studien. Det fanns därför ingen direkt koppling till avverkningsnivån i det praktiska skogsbruket. I RegWise styrdes avverkningsnivån för en period av tillväxten under föregående perioder.

Avverkningsnivån tillåts vara så hög som möjligt utan att tillväxten för påföljande period äventyras. Som en effekt av detta minskade andelen överhållen skog över tiden och därmed minskade både slutavverkningsåldern och grundtevägda medeldiametern vid slutavverkning. Avverkningsnivån påverkade således stamformen vilket även kom till uttryck vid effektanalysen.

Effektanalysen visade att toppdiametern hade stor betydelse för skogsbränsleskörden. Skillnaderna mellan skogsbränsleskörden för de olika toppdiametrarna ökade dessutom över tiden. Den rimliga förklaringen är sambandet mellan stamformen och biomassafördelningen. Mängden biomassa ovanför stamdiametern 12 cm är större för yngre och klenare träd i glesa bestånd jämfört med äldre och grövre träd i välslutna bestånd.

Vid effektanalysen studerades även hur nuvärdet påverkades av toppdiametern. Med Södras prislistor och de fördefinierade avverkningskostnaderna ökade nuvärdet per hektar med toppdiametern. Södra är en medlemsägd skogsägarförening och eventuell återbäring till medlemmarna beaktades inte i beräkningarna. Det är därför inte säkert att Södras prislistor speglar den verkliga ersättningen till markägaren för varje sortiment. Avsikten med studien har ingalunda varit att göra en fullständig ekonomisk analys av prissättningen och fördelningen mellan sortimenten. Studien kan därför inte ge några svar på frågan om vilket pris eller vilken toppdiameter som bör råda vid skogsbränsleskörd.

Enligt beräkningarna kan i genomsnitt 2,86 miljoner ton TS GROT per år skördas den första perioden vilket motsvarar ca 13,79 TWh. Det är 11,29 TWh mer än de 2,5 TWh GROT som tillfördes vid energiframställningen år 2009 enligt Skogsstatistisk årsbok (Skogsstyrelsen, 2011). En möjlig förklaring till skillnaden kan vara att det i beräkningarna inte togs någon hänsyn till eventuella skillnader i skogsskötselstrategier mellan olika skogsägarkategorier. Det är troligt att privata skogsägares skogsskötsel är annorlunda jämfört med skogsbolagens. En förbättring av beräkningarna kan vara att även skapa skogsdomäner baserat på skogsägarkategorier och på så sätt ge uttryck för fler skogsskötselstrategier.

Vidare visar beräkningarna också en möjlighet att med relativt enkla medel mer än dubblera skörden till 6,49 miljoner ton TS GROT per år vilket motsvarar ca 32,19 TWh. Det tillgängliga skogsbränslet, d.v.s. den teoretiska potentialen, var i genomsnitt 13,4 miljoner ton TS per år och 16,1 miljoner ton TS per år för Referensscenariot resp. Skogsbränslescenariot den första perioden. Detta motsvarar 64,58 TWh resp. 77,42 TWh.

Försök att kvantifiera skogsbränsletillgångarna har gjorts i ett otal andra undersökningar och resultaten varierar. År 2009 kompletterades SKA-VB 08 med en studie där skogsbränslepotentialen beräknades genom att konstruera marginalkostnadskurvor för skogsbränslesortimentet. I studien användes tre nivåer för ekologiska och ekonomiska restriktioner där nivå 1 ligger nära den teoretiskt möjliga skogsbränsleskörden och nivå 3 avspeglar restriktionerna i det praktiska skogsbruket. För nivå 3 var skogsbränslepotentialen 4,9 miljoner ton TS vilket motsvarar 23,6 TWh och för nivå 1 var potentialen 11,3 miljoner ton TS vilket motsvarar 54,4 TWh (Athanassiadis, m.fl., 2009).

I rapporten *Biomass potential for heat, electricity and vehicle fuel in Sweden* (Hagström, 2006) redovisas biomassatillgångarna i Sverige genom en sammanställning av tidigare rapporter. Där framgår att den årliga potentialen av torrsbstans från avverkningsrester totalt motsvarar 57,1 TWh. Även dessa siffror avser den teoretiska potentialen och ligger något lägre än resultatet av denna studie.

Av tabell 5 framgår att det finns en outnyttjad skogsbränslepotential i Sverige, en tillgång som skulle kunna användas för att nå de mål om förnyelsebar energianvändning som nämns i regeringens proposition: *En sammanhållen klimat- och miljöpolitik. Av Energiläget i siffror 2011* framgår att den totala energitillförseln år 2009 exklusive transporter var 407 TWh. Samtidigt framgår att andelen förnyelsebar energi var 47 % (Energimyndigheten, 2012). För att nå målet om förnyelsebar energitillförsel fattas således 12 TWh, detta skulle kunna täckas upp av den outnyttjade skogsbränslepotentialen reda med dagens skogsskötselstrategi.

Statistik för transportsektorn från år 2010 visar att 5 av totalt 96 TWh kommer från förnyelsebara energikällor (Energimyndigheten, 2012). För att nå målet om förnyelsebar energitillförsel inom transportsektorn till år 2020 krävs således en ökning med 4.6 TWh. Hur stor del av detta som kan utgöras av oförädlade skogsbränslen beror på verkningsgraden vid drivmedelframställningen. Resultatet av studien tyder dock på att skogsbränslepotentialen räcker till för att nå energimålen, både för transportsektorn och för övrig energianvändning, vid en skogsskötselstrategi i linje med Skogsbränslescenariot. Detta utan att målet om energieffektivisering har beaktats. Däremot är inte oförädlad skogsbränsle lösningen för att helt fasa ut användningen av fossila bränslen för transportsektorn vilket är målet till år 2030.

Förslag till framtida studier

Under arbetets gång har några tankar kring förbättringar och vidarestudier dykt upp. Heureka RegWise har visat sig användbart vid scenarioanalyser. Skogsbränslepotentialen skulle även kunna undersökas med Heureka PlanWise på mindre områden i varje region genom att optimera skogsskötseln med avseende på skogsbränsleskörd. I PlanWise skulle även en mer ingående analys av den långsiktiga gödslingseffekten på skogsbränsleskörden samt hur priset på GROT och toppdiametern påverkar nuvärdet kunna göras.

Slutsats

Målet om förnyelsebar energitillförsel till år 2020 exklusive målet för transportsektorn kan nås genom att utnyttja den skogsbränslepotential som kan skördas med en skogsskötselstrategi enligt Referensscenariot. Målet om förnyelsebar energitillförsel till år 2020 inklusive målet för transportsektorn kan nås genom att utnyttja den skogsbränslepotential som kan skördas vid en skogsskötselstrategi enligt Skogsbränslescenariot. För att även nå målet om förnyelsebar energitillförsel inom transportsektorn till år 2030 krävs däremot ett utnyttjande av skogsbränsleresursen som närmar sig den teoretiskt tillgängliga skogsbränslepotentialen.

Tillkännagivande

Jag vill tacka Torgny Lind som i egenskap av handledare varit tillgänglig och visat stort engagemang för genomförandet av examensarbetet. Jag vill också rikta ett tack till Dimitris Athanassiadis som prestigelöst bidragit med kunskap och information från tidigare studier på området.

Litteraturförteckning

- 1990 års skogspolitiska kommitté. (1992). *Skogspolitiken inför 2000-talet: huvudbetänkande. Bilagor I*. Stockholm: Allmänna förlaget.
- Anon. (2011). Planerade anläggningar. *Bioenergi. nr 4, 2011*, s. 19.
- Athanassiadis, D., Lundström, A., & Nordfjell, T. (2011). *A Regional-Scale GIS-Based Evaluation of the potential and Supply Costs of forest biomass in Sweden*. Umeå: Department of Forest Resource Management.
- Athanassiadis, D., Melin, Y., Lundström, A., & Nordfjell, T. (2009). *Marginalkostnader för skörd av GROT och stubbar från förnygringsavverkningar i Sverige*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Axelsson, A.-L., Ståhl, G., Söderberg, U., Petersson, H., Fridman, J., & Lundström, A. (2010). Sweden. i E. Tomppo, T. Gschwantner, M. Lawrence, & R. McRoberts, *National forest inventories - Pathway for common reporting* (ss. 541-553). Heidelberg: Springer.
- Bergström, D., Ulvcróna, T., Nordfjell, T., Egnell, G., & Lundmark, T. (2010). *Skörd av skogsbränsle i förstagallringar*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Björk, L.-E., Brolin, H., Pilström, H., & Rune, A. (1998). *Formler och tabeller från natur och kultur*. Stockholm: Natur och Kultur.
- Brunberg, T. (2010). *Skogsbränsle: metoder, sortiment och kostnader 2009*. Uppsala: Skogforsk.
- Egnell, G. (2008). *Biobränslemarkanden i Sverige - en nulägesanalys*. Umeå: Enheten för skoglig fältforskning.
- Energimyndigheten*. (den 26 januari 2012). Hämtat från <http://energimyndigheten.se/Global/Statistik/Energil%C3%A4get/Energil%C3%A4get%20i%20siffror%202011.pdf> den 08 mars 2012
- Hagström, P. (2006). *Biomass Potential for Heat, Electricity and Vehicle Fuel in Sweden*. Uppsala: SLU.
- Jacobsson, J. (2005). *En uppdatering av kunskapsläget beträffande tillgång och efterfrågan på biobränsle*. Hämtat från skogsindustrierna: <http://www.skogsindustrierna.org/web/Enuppdatering.aspx>
- Lämås, T., & Dahlin, B. (2006). Heureka - analys- och planeringssystem för mångbruk och miljö. *Metstieteen aikakauskirja*, 66-71.
- Nationalencyklopedin*. (den 7 februari 2012). Hämtat från <http://www.ne.se/trädbränsle> den 7 februari 2012
- Nilsson, T. (1969). *Terrängtypsschema för svenskt skogsbruk*. Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogsarbetaren.
- Nurmi, J. (2007). Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy*, 375-380.
- Näringsdepartementet. (den 11 mars 2008). En sammanhållen klimat- och energipolitik. *Regeringens proposition 2008/09:163*. stockholm. Hämtat från En sammanhållen klimat- och miljöpolitik: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/12/27/85/65e0c6f1.pdf> den 06 oktober 2011
- Regeringen*. (den 17 april 2009). Hämtat från <http://www.regeringen.se/sb/d/8857> den 6 oktober 2011

- Sallin, S. (2008). *Ekonomi vid uttag av långa toppar som skogsbränsle i slutavverkning*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Skogsstyrelsen. (2008). *Rekomendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Skogsstyrelsen. (2008). *Skogliga konsekvensanalyser 2008*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Skogsstyrelsen. (2011). *Skogsstatistisk årsbok. 2011*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- SLU. (2009). *Riksinventering av skog*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Svensk Fjärrvärme*. (den 12 oktober 2011). Hämtat från <http://www.svenskfjarrvarme.se> den 12 oktober 2011
- Svenska FSC-rådet. (2000). *Svensk FSC-standard för certifiering av skogsbruk*. Uppsala: Svenska FSC-rådet.
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/SB8%202%20T2%20Södra%20talltimmer%20reviderad.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/863%202%20G2%20Södra%20gran timmer%2016%20cm.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/805%202%20L3%20Södra%20talltimmer%20reviderad.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/805%202%20L3%20Östgötatimmer%20av%20gran.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/944%202%20L3%20Normaltimmer%20av%20Höglandsgran.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 november 2011). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/934%202%20L3%20Södra%20talltimmer%20reviderad.pdf> den 11 februari 2012
- Södra*. (den 16 januari 2012). Hämtat från [http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/069%202%20M3%20\(1\)%20Massaved.pdf](http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/069%202%20M3%20(1)%20Massaved.pdf) den 11 februari 2012
- Södra*. (den 11 februari 2012). Hämtat från <http://skog.sodra.com/Documents/PrislistorVO/1/S76%202%20F1%20GROT%20och%20Träddelar%20982,983,984,985,986> den 11 februari 2012
- Thelberg, E. (2011). *Gödslingsstrategins inverkan på Holmen Skog, Umeå distrikt*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning
- WeCalc*. (den 28 januari 2011). Hämtat från <http://woodenergy.sites.djangoeuropa.com/conversion> den 28 januari 2011

Bilaga 1: Styrtabeller

Tabell 8: *Fördelning av föryngringsmetod för olika markförhållanden för respektive region, %*

Region	Föryngringsmetod	Markfuktighet		
		Torr	Frisk	Fuktig
1	Plantering	42	80	71
	Sådd	2	1	0
	Naturlig föryngring med fröträd	47	14	7
	Ingen åtgärd	10	5	23
2	Plantering	20	57	63
	Sådd	2	1	0
	Naturlig föryngring med fröträd	67	35	28
	Ingen åtgärd	11	8	9
3	Plantering	38	54	67
	Sådd	0	1	0
	Naturlig föryngring med fröträd	57	39	15
	Ingen åtgärd	6	6	19
4	Plantering	18	61	66
	Sådd	0	1	0
	Naturlig föryngring med fröträd	73	30	20
	Ingen åtgärd	9	8	14
5	Plantering	61	88	65
	Sådd	0	0	0
	Naturlig föryngring med fröträd	36	6	7
	Ingen åtgärd	3	6	27

Tabell 9: Trädslagsfördelning vid skogsodling för respektive region, %

Region		Markfuktighet				Fuktig
		Torr < SI 22	Frisk SI 22- SI 26	SI 22- SI 26	> SI 26	
1	Tall/contorta	85	55	48	50	25
	Gran	15	45	52	50	75
	Björk	0	0	0	0	0
2	Tall/contorta	80	77	62	50	49
	Gran	20	23	38	50	51
	Björk	0	0	0	0	0
3	Tall/contorta	70	86	36	19	46
	Gran	30	14	64	81	54
	Björk	0	0	0	0	0
4	Tall/contorta	46	30	21	7	8
	Gran	54	70	78	91	92
	Björk	0	0	1	2	0
5	Tall/contorta	57	50	33	4	17
	Gran	43	50	65	92	83
	Björk	0	0	2	4	0

Tabell 10: Andelen markberedning och hyggesbränning vid skogsodling och naturlig föryngring för respektive region, %

Region	Föryngringsmetod	Bearbetnings- metod	Markfuktighet		
			Torr	Frisk	Fuktig
1	Skogsodling	Markberedning	89	98	97
		Bränning	0	1	1
		ej MB	11	1	2
	Naturlig föryngring	Markberedning	32	80	39
		Bränning	1	1	0
		ej MB	67	19	61
2	Skogsodling	Markberedning	100	97	98
		Bränning	0	1	1
		ej MB	0	2	1
	Naturlig föryngring	Markberedning	75	79	50
		Bränning	1	1	0
		ej MB	24	20	50
3	Skogsodling	Markberedning	99	96	81
		Bränning	1	1	0
		ej MB	0	4	19
	Naturlig föryngring	Markberedning	72	75	20
		Bränning	2	0	0
		ej MB	27	25	80
4	Skogsodling	Markberedning	73	75	65
		Bränning	0	1	0
		ej MB	27	24	35
	Naturlig föryngring	Markberedning	56	60	40
		Bränning	1	0	0
		ej MB	43	40	60
5	Skogsodling	Markberedning	67	77	74
		Bränning	0	1	0
		ej MB	33	22	26
	Naturlig föryngring	Markberedning	85	48	20
		Bränning	0	0	0
		ej MB	15	52	80

Tabell 11: Antal plantor per hektar vid plantering för respektive region = $a + b \times SI$

Region	Koefficient	Bonitetsvisande trädslag	
		Tall	Gran
1	a	1610	1290
	b	40	35
2	a	1610	1290
	b	40	35
3	a	1610	1290
	b	40	35
4	a	1610	1290
	b	40	35
5	a	1610	1290
	b	40	35

Tabell 12: Andel av arealen planterad med Gran/Tall som planterats med förädlad material för respektive regioner, %

Region		Gran			Tall		
		< 2020	< 2030	< 2110	< 2020	< 2030	< 2110
1	Plantagematerial	70	86	95	95	95	95
	Proveniensförflyttat	25	9	0	0	0	0
2	Plantagematerial	70	86	95	95	95	95
	Proveniensförflyttat	25	9	0	0	0	0
3	Plantagematerial	95	95	95	95	95	95
	Proveniensförflyttat	0	0	0	0	0	0
4	Plantagematerial	64	79	95	95	95	95
	Proveniensförflyttat	31	16	0	0	0	0
5	Plantagematerial	78	95	95	95	95	95
	Proveniensförflyttat	17	0	0	0	0	0

Bilaga 2: Prislister

Tabell 13: Prislista för talltimmer region fem, kr/m³sk

Diameter	Klasser			
	1	2	3	4
18	532	445	445	355
20	645	445	445	355
22	715	445	445	395
24	775	455	455	365
26	805	465	465	365
28	835	480	480	372
30	860	495	495	375
32	880	510	510	375
34	900	487	487	375
36	900	525	525	375
38	900	525	525	375

Tabell 14: Prislista för grantimmer region fem, kr/m³sk

Diameter	Klasser	
	1	2
18	462	462
20	490	490
22	508	508
24	527	527
26	545	545
28	555	555
30	565	565
32	565	565
34	565	565
36	565	565
38	528	528
40	508	508

Tabell 15: Massavedpriser för region 5, kr/m³fub

Barr	Björk & rödbok	Övrigt löv, ej ek & alm	Al
300	350	315	195

Källor: Syd Tall (Södra, 2011), Syd Gran (Södra, 2011), Öst Tall (Södra, 2011), Öst Gran (Södra, 2011), Väst Gran (Södra, 2011), Väst Tall (Södra, 2011), Massaved (Södra, 2012)